Décembre 2007 Série technique 07-119

Évaluation du rendement thermique des murs à coffrages isolants dans les tours d'habitation

INTRODUCTION

Les coffrages isolants sont en général des éléments modulaires de polystyrène, creux et emboîtables, dans lesquels du béton est coulé pour former les murs d'immeubles résidentiels et commerciaux.

Les murs à coffrages isolants présentent de nombreux avantages : ils sont faciles à construire, ils possèdent une résistance et une masse thermiques élevées et ils sont étanches à l'air. Ces caractéristiques devraient réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation, accroître le confort et diminuer la puissance requise des systèmes pour le conditionnement de l'air des locaux.

Bien que les systèmes de coffrages isolants soient offerts depuis de nombreuses années, les constructeurs, les propriétaires et les promoteurs ont besoin de données et d'analyses quantitatives relatives à l'évaluation du rendement pour mieux comprendre leur rendement énergétique. La SCHL, en partenariat avec la Ready Mixed Concrete Association of Ontario (RMCAO) et le Jamesway Construction Group, a mis en branle un projet de recherche visant à évaluer les caractéristiques de rendement thermique et d'étanchéité à l'air d'un immeuble d'appartements construit à l'aide de coffrages isolants.

Programme de recherche

Cette recherche avait pour objectifs de caractériser :

- le rendement thermique d'un mur à coffrages isolants;
- l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment, ce qui comprend le repérage des infiltrations d'air et de la présence de ponts thermiques dans les murs à coffrages isolants;
- les conséquences du rendement thermique sur la puissance du système pour le conditionnement de l'air des locaux.

Le Jamesway Construction Group a construit l'immeuble à l'étude, montré à la figure 1, en 2005, à Waterloo en Ontario. L'immeuble de sept étages compte 100 appartements et une surface de plancher de 8 140 m^2 (26 705 pi^2).

Figure 1 L'immeuble étudié

L'étude a analysé les données recueillies par des capteurs de température disposés à neuf endroits dans l'enveloppe du bâtiment à coffrages isolants. Ces capteurs ont enregistré les variations de température du système de murs opaques. À chacun des neuf points de mesure, des capteurs ont été installés :

1. sur la surface extérieure de la paroi isolante externe;
2. à l'interface entre la paroi isolante externe et le béton;
3. à l'interface entre la paroi isolante interne et le béton;
4. sur la surface intérieure de la paroi isolante interne.

Canada

SCHL CMHC
AU CŒUR DE L'HABITATION

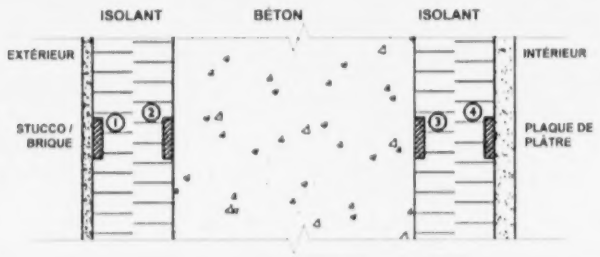

Figure 2 Schéma en coupe transversale d'un mur montrant l'emplacement des capteurs

Toutes les façades et tous les étages autres que le rez-de-chaussée faisaient partie des points de mesure. Des enregistreurs de données placés dans huit appartements ont recueilli les données relatives à la température ambiante à l'intérieur.

Les 36 capteurs ont recueilli des données à un intervalle de 15 minutes du 1er décembre 2005 au 28 février 2006. Les données relatives à la température ambiante à l'extérieur ont été extraites d'une station météorologique de l'Université de Waterloo. En plus des mesures de la température, l'étude comprenait un essai d'étanchéité à l'air de l'ensemble du bâtiment, une analyse thermographique pour déceler les ponts thermiques et une représentation paramétrique de l'énergie pour tenter de déterminer l'incidence de la masse thermique et de l'étanchéité à l'air sur la consommation d'énergie du bâtiment.

RÉSULTATS

Degré d'isolation thermique

Les murs à coffrages isolants mis à l'essai étaient composés de trois principales couches : une paroi isolante externe de polystyrène expansé, une couche de béton et une paroi isolante interne de polystyrène expansé. Le tableau 1 indique les propriétés de l'isolant thermique et du béton.

Le tableau 1 montre que l'isolant a une densité de stockage faible et une diffusivité thermique élevée. Cela signifie que l'isolant a une faible capacité de stockage d'énergie thermique et réagit rapidement aux changements de température extérieure. Le béton, cependant, a une densité de stockage élevée et une diffusivité thermique faible, ce qui en fait un bon matériau de stockage d'énergie thermique qui réagit lentement aux changements de température extérieure. La résistance thermique du mur à coffrages isolants a été établie, à l'aide des calculs usuels, comme étant RSI 3,7 (R-21), comme indiquée dans le tableau 2.

Tableau 1 Propriétés thermiques de l'isolant et du béton de l'immeuble étudié

Propriété	Isolant	Béton
Épaisseur (chaque couche)	66,675 mm	152,4 mm
Masse volumique	16,0 kg/m^3	2 350 kg/m^3
Conductivité thermique	0,037 W/mK	1,4 W/mK
Chaleur massique	1 210 J/m^{3}K	880 J/m^{3}K
Densité de stockage	19 360 J/m^{3}K	2 068 000 J/m^{3}K
Diffusivité thermique	1,91e-6 m^2/s	6,77e-7 m^2/s
Résistance thermique	1,8 m^{2}K/W	0,1 m^{2}K/W

Tableau 2 Résistance thermique des murs à coffrages isolants de l'immeuble étudié

Composant du mur	Épaisseur nominale	Conductivité thermique	Résistance thermique
Isolant externe (polystyrène expansé)	66,7 mm	0,037 W/m K	1,8 m^2K/W
Béton (2 350 kg/m^3)	152,4 mm	1,4 W/m K	0,1 m^2K/W
Isolant interne (polystyrène expansé)	66,7 mm	0,037 W/m K	1,8 m^2K/W
Assemblage total	**285,8 mm**	—	**3,7 m^2K/W**

Les valeurs de la conductivité thermique sont pour une température moyenne 24 °C.
Référence : ASHRAE Fundamentals Handbook, 2005.

La résistance thermique de l'ensemble du mur, comprenant l'extérieur en stucco, la plaque de plâtre à l'intérieur et les coefficients de film d'air intérieur et extérieur, a été calculée comme étant 3,9 m^2K/W (R-22).

Gradient de température dans les murs à coffrages isolants

Au cours du suivi effectué au milieu de l'hiver, les tendances suivantes ont été relevées :

- La température de l'air intérieur était maintenue à environ 19,4 °C (66,92 °F) et la variation entre les appartements était très faible.
- Les valeurs de température de chaque côté du béton (aux emplacements 2 et 3) étaient relativement stables au cours des trois mois, variant seulement d'environ ±3,5 °C par rapport aux valeurs moyennes.
- La température sur la surface intérieure du béton (emplacement 3) n'a jamais dépassé la température sur la surface intérieure de l'isolant (emplacement 4). Par conséquent, le flux de chaleur n'a jamais changé de direction, de sorte que le béton a transféré la chaleur à l'intérieur du bâtiment même si les murs semblaient absorber de l'énergie solaire dans certaines conditions. Même si la présence d'énergie solaire absorbée réduirait la perte de chaleur, l'incidence globale ne serait pas notable.

La baisse de température dans la paroi isolante interne s'est avérée être plus ou moins constante pendant le jour. Cela signifie que la perte de chaleur de l'intérieur du bâtiment est également plus ou moins constante. La température sur la surface intérieure des murs et celle de l'air intérieur ont légèrement augmenté au cours de l'après-midi, mais sont redescendues aux mêmes points qu'en matinée. Les températures accrues de l'air intérieur et de la surface des murs s'expliquent par le gain direct de chaleur solaire par les fenêtres et la porte du balcon dans les appartements.

La figure 3 montre les conditions de température dans l'enveloppe du bâtiment au premier étage sur le mur nord (1N), le 3 février 2006, lorsque le mur présentait un régime quasi permanent. La différence de température entre les parois isolantes interne (entre 1N-4 et 1N-3) et externe (entre 1N-2 et 1N-1) était d'environ 6,3 °C. Pour faire une comparaison, la différence entre les deux surfaces du béton (entre 1N-3 et 1N-2) n'était que de 0,4 °C. Cela indique que le béton ne contribue pas de manière considérable à la résistance thermique globale du mur en régime permanent.

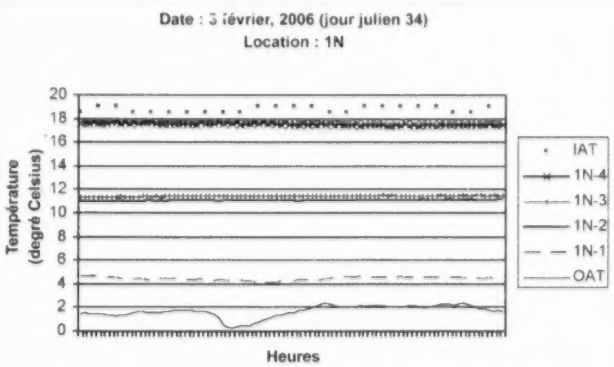

Figure 3 Rendement du mur en régime quasi permanent

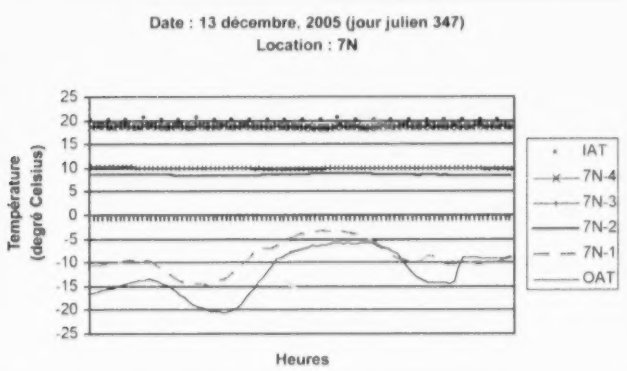

Figure 4 Mur à coffrages isolants séparant la température de l'air intérieur de la température de l'air extérieur

La figure 4 montre les conditions du mur nord au 7e étage (7N) au cours d'une journée ayant des variations importantes de la température de l'air extérieur (TAE). Il n'est pas surprenant de constater que la température à la surface extérieure du mur (7N-1) suit étroitement la température extérieure. Toutefois, la température aux emplacements internes est demeurée constante tout au long de la journée.

Cela signifie que la surface interne du béton (7N-3) est bien isolée des changements de température extérieure, à la fois par les niveaux d'isolation de l'extérieur du mur et par la capacité d'isolation du béton. Le degré d'isolation est tellement élevé que les variations de température à l'extérieur n'ont presque pas d'incidence sur la température intérieure du béton, et par conséquent, elles n'ont aucune incidence notable sur le flux de chaleur à court terme (quotidien ou même hebdomadaire) de l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur.

Les profils verticaux de température des murs se sont avérés être relativement indépendants de la hauteur du bâtiment et du revêtement mural (le stucco comparé à la brique). Par temps froid prolongé (durant plusieurs jours), le flux de chaleur de l'intérieur du bâtiment vers le béton et de ce dernier vers l'extérieur était en grande partie équilibré. Dans ces conditions, le béton ne contribuait que très peu à la résistance thermique globale des murs.

Essai d'étanchéité à l'air

Un essai d'étanchéité à l'air a été effectué pour déterminer l'incidence des murs à coffrages isolants sur les caractéristiques d'ensemble d'étanchéité à l'air du bâtiment. Même si l'on s'attendait à ce que les murs opaques soient relativement étanches à l'air, on prévoyait que la fondation classique, la toiture-terrasse, les fenêtres, les portes et les points de pénétration du matériel mécanique et électrique annulent l'étanchéité à l'air des murs.

Au moment de l'essai, la construction de l'immeuble en était aux dernières étapes; les mastics et les cordons de calfeutrage, ainsi que les cloisons de recoupement n'étaient pas encore posés et les points de pénétration du matériel mécanique n'étaient pas encore étanches. Toutes les ouvertures intentionnelles étaient étanches, de sorte que les caractéristiques d'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment construit avec les ouvertures non intentionnelles pouvaient être évaluées.

Trois ventilateurs à débit contrôlé ont été utilisés pour mener l'essai – deux ont été installés aux portes de sortie du rez-de-chaussée et un à la porte de service menant sur le toit. Un essai multipoint a été effectué au cours duquel le bâtiment a subi une dépressurisation de 50 Pa à 20 Pa (en deçà de la pression ambiante extérieure) et des mesures du flux et de la pression ont été prises sur une base régulière.

Pendant l'essai, une inspection de l'enveloppe de bâtiment a été entreprise pour déceler les fuites d'air. Bien que de nombreuses fuites d'air associées aux passages de conduites et de câbles électriques aient été trouvées, aucune fuite n'a été décelée dans le mur à coffrages isolants comme tel.

L'indice normalisé d'étanchéité à l'air a été calculé comme étant 1,25 L/s/m^2 à 75 Pa. Pour faire une comparaison, une étude (1) de la SCHL portant sur 11 tours d'habitation situées un peu partout au Canada a révélé des indices globaux allant de 0,9 L/s/m^2 à 10,3 L/s/m^2 à 75 Pa, avec une moyenne de 3,19 L/s/m^2 à 75 Pa. D'autres références suggèrent que les bâtiments types ont un indice normalisé d'étanchéité à l'air se situant entre 2 L/s/m^2 et 20 L/s/m^2 à 75 Pa.

Les résultats indiquent que l'enveloppe globale du bâtiment est relativement étanche à l'air, principalement en raison de la continuité des murs à coffrages isolants étant donné qu'aucune mesure extraordinaire de maîtrise des fuites d'air n'a été entreprise au niveau du toit et de la fondation, que la construction du bâtiment n'était pas encore complètement terminée et que certains points de pénétration des murs n'étaient pas étanches.

Les résultats de cet essai laissent entendre que les charges de chauffage et de refroidissement des locaux et la puissance associée du système de chauffage et de climatisation du bâtiment pourraient être fondées sur un taux d'infiltration d'air qui est jusqu'à 60 % inférieur aux constructions standard.

Ponts thermiques

Une étude thermographique à infrarouge du bâtiment a également été réalisée afin de localiser les ponts thermiques dans les murs à coffrages isolants. Les points de pénétrations dans les murs causés par le système de chauffage et de climatisation, les fenêtres et les portes coulissantes des balcons ont montré les ponts thermiques prévus. Toutefois, un pont thermique a également été trouvé à des endroits comme la jonction de la dalle mur-plancher (voir figure 5) où la température de l'intersection s'est avérée être de 3 °C inférieure à celle du mur opaque adjacent. Il est cependant peu probable que cela ait une incidence considérable sur la charge de chauffage de l'ensemble du bâtiment.

Un pont thermique a également été décelé à l'intersection des dalles du balcon et des murs à coffrages isolants. La température du balcon près du bâtiment (en face de la porte du balcon et à l'intersection du balcon et du mur extérieur) était d'environ cinq degrés supérieure à celles des endroits plus éloignés du bâtiment, même si un isolant thermique avait été posé entre la dalle à âme et le balcon (voir figure 6).

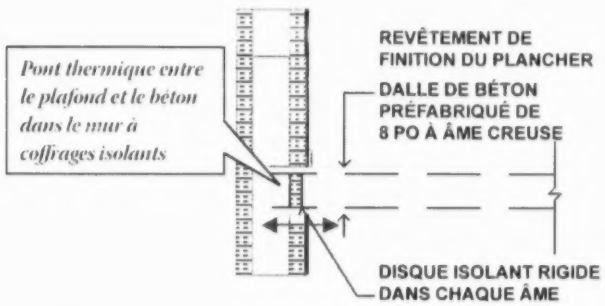

Figure 5 Pont thermique à l'intersection mur-plancher de la dalle

Aucun pont thermique important dans le mur à coffrages isolants comme tel n'a été décelé. Cela s'explique par la conception de l'assemblage mural à coffrages isolants, dans lequel les languettes d'accrochage en plastique dans les éléments modulaires des coffrages ne transpercent pas chaque paroi isolante. De plus, la paroi isolante externe n'est pas entièrement percée aux intersections mur-plancher.

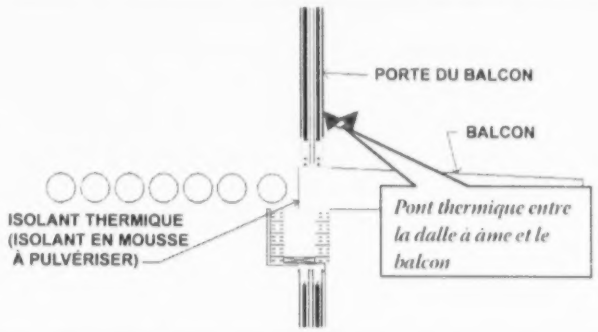

Figure 6 Pont thermique à l'intersection mur-balcon : schéma de la construction

MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

La consommation énergétique de l'immeuble d'appartements a été simulée au moyen du logiciel eQUEST[9] v.3.5. Ce dernier a été utilisé pour conduire des simulations paramétriques visant à quantifier les économies d'énergie annuelles qui pourraient être attribuées à l'infiltration d'air réduite et à la masse thermique accrue associées à la construction des murs à coffrages isolants. Les trois modèles suivants ont été simulés.

Modèle 1 : cas de référence

Ce modèle simule la performance de l'immeuble d'appartements tel que construit. Il est fondé sur la construction réelle du bâtiment et mesure l'infiltration d'air.

Modèle 2 : infiltration type

Ce modèle est identique au modèle 1, sauf que le taux d'infiltration a été augmenté pour correspondre à celui d'une tour d'habitation type (0,691 RAH lorsqu'un vent d'une vitesse de 16 km/h [10 mi/h] souffle sur l'immeuble). Cette simulation a été comparée à la simulation du modèle 1 pour examiner l'incidence des caractéristiques évoluées d'étanchéité à l'air des murs à coffrages isolants sur le rendement énergétique du bâtiment.

Modèle 3 : sans béton

Ce modèle est identique au modèle 1, sauf que la couche de béton des murs à coffrages isolants a été remplacée par une couche de polystyrène expansé de 6,35 mm (0,25 po). L'épaisseur de cet isolant a été choisie de sorte que la valeur R totale des murs corresponde au modèle 1. Les résultats de la simulation de ce modèle ont été comparés à ceux du modèle 1 pour examiner l'incidence de la masse thermique du béton dans les murs du modèle 1.

Le tableau 3 indique les résultats des trois simulations énergétiques.

La comparaison des résultats de simulation obtenus avec les modèles 1 et 2 montre que la réduction de 60 % de l'infiltration d'air associée à la construction des murs à coffrages isolants diminue les charges de pointe de chauffage et de climatisation du bâtiment de 57 % et de 16 % respectivement, ce qui augmente les économies d'énergie annuelles de 574 584 MJ et les économies d'argent de 5 879 $.

La comparaison des résultats de simulation obtenus avec les modèles 1 et 3 indique que la masse thermique accrue offerte par la construction de murs à coffrages isolants dans cet immeuble a montré une amélioration négligeable lorsque comparée à des murs de faible masse ayant la même résistance thermique et la même infiltration. Les économies d'énergie annuelles et les économies d'énergie annuelles ont été estimés à 6 436 MJ et les économies en argent à 140 $.

Les murs utilisés dans le modèle 3 constituent un assemblage théorique composé uniquement de polystyrène et ayant une masse thermique très faible. Ainsi, tout autre type de mur (comme les murs à ossature isolés) qui atteint le même degré d'infiltration et de résistance thermique globale devrait produire des résultats semblables. Toutefois, en termes de charges de pointe du bâtiment et de demande annuelle en énergie, la masse thermique accrue offerte par les murs à coffrages isolants dans cette tour d'habitation type a donné lieu à de très minces économies.

Cependant, il est à remarquer que l'assemblage de murs à coffrages isolants peut avoir une plus grande incidence sur les économies d'énergie et la puissance de l'équipement mécanique pour d'autres types de bâtiments, tels qu'un immeuble à bureaux, où des stratégies de contrôle des économies d'énergie peuvent être mises en place pendant les heures d'inoccupation (par exemple, refroidir l'immeuble en utilisant l'air plus frais de la nuit).

Tableau 3 – Résultats des simulations énergétiques exécutées avec eQUEST®

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
Charge de climatisation (kW)	197	234	202
Charge de chauffage (kW)	164	383	161
Consommation annuelle d'électricité (MJ)	1 698 113	1 692 415	1 702 649
Consommation annuelle de gaz naturel (MJ)	5 466 351	6 046 631	5 468 250
Consommation annuelle totale (MJ)	7 164 463	7 739 047	7 170 899
Coût annuel de l'électricité	44 114 $	43 967 $	44 233 $
Coût annuel du gaz naturel	57 732 $	63 758 $	57 753 $
Coût total	101 846 $	107 725 $	101 986 $

CONCLUSION

Les murs à coffrages isolants étudiés dans ce projet de recherche avaient une valeur isolante assez proche de la valeur isolante nominale des parois isolantes de polystyrène. Bien que des ponts thermiques mineurs aient été décelés dans l'assemblage mural, les plus importants ponts thermiques qui ont été trouvés étaient causés par des points de pénétration dans les murs à coffrages isolants et ne représentaient pas une faiblesse du système.

Aucune incidence relative à la masse thermique ni de valeur isolante accrue n'a été observée. Toutefois, l'essai d'étanchéité à l'air a révélé que l'immeuble est relativement étanche à l'air et cela peut, en grande partie, être attribué aux murs à coffrages isolants. Les économies d'énergie associées uniquement aux fuites d'air réduites sont notables et continueraient d'augmenter durant la durée de vie du bâtiment étant donné que le nombre de fuites d'air dans la section des murs ne devrait pas s'accroître outre mesure avec le temps.

De plus, les murs à coffrages isolants ont servi de tampon thermique important entre les conditions intérieures et extérieures, ce qui assurerait un confort accru dans le bâtiment.

Conséquences pour le secteur de l'habitation

Les résultats de cette étude indiquent que les coffrages isolants peuvent être utilisés pour construire des murs qui offrent de bonnes valeurs isolantes, réduisent considérablement les fuites d'air et accroissent le confort des occupants. Les murs à coffrages isolants devraient diminuer la consommation d'énergie des bâtiments et les coûts d'exploitation associés en réduisant les fuites d'air.

Bien que cette étude n'ait pas pu attribuer de valeur isolante réelle qui est supérieure à la valeur isolante nominale des parois de polystyrène, les murs à coffrages isolants sembleraient offrir une excellente résistance thermique et étanchéité à l'air. L'étude montre également que le degré d'étanchéité à l'air de l'assemblage mural doit être pris en compte lors du choix de la puissance des systèmes pour le conditionnement de l'air des locaux des bâtiments construits au moyen de murs à coffrages isolants.

Remerciements

La SCHL remercie la Ready Mixed Concrete Association of Ontario (RMCAO), la Cement Association of Canada et le Jamesway Construction Group d'avoir appuyé cette étude.

Gestionnaire de projet à la SCHL : Duncan Hill

Consultants pour le projet de recherche :
Enermodal Engineering Limited

Recherche sur le logement à la SCHL

Aux termes de la partie IX de la ***Loi nationale sur l'habitation***, le gouvernement du Canada verse des fonds à la SCHL afin de lui permettre de faire de la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et d'en publier et d'en diffuser les résultats.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Pour consulter d'autres feuillets ***Le Point en recherche*** et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web au

www.schl.ca

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7
Téléphone : 1-800-668-2642
Télécopieur : 1-800-245-9274

©2007 Société canadienne d'hypothèques et de logement
Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL 04-03-08

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La Société canadienne d'hypothèques et de logement se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.

65864